



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 40 18 930 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**H 02 M 3/10**  
H 02 M 7/48

②1 Aktenzeichen: P 40 18 930.9  
②2 Anmeldetag: 13. 6. 90  
④3 Offenlegungstag: 9. 1. 92

DE 40 18 930 A 1

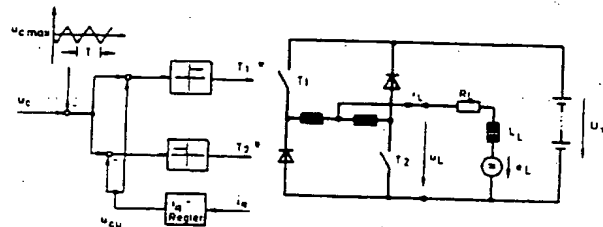
⑦1 Anmelder:  
Klug, Rolf-Dieter, Dipl.-Ing. (Univ.), 8500 Nürnberg,  
DE

⑦2 Erfinder:  
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Brückenweig von Gleichstromstellern und Pulswechselrichtern mit geregelterm Querstrom

⑤7 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Brücken-  
zweige von getakteten Gleichstromstellern oder Pulswech-  
selrichtern so anzusteuern, daß sich für beide Polaritäten  
des Laststromes identische Übertragungseigenschaften zwi-  
schen einem Steuersignal und der mittleren Lastspannung  
ergeben, und dadurch sämtliche störenden Eigenschaften -  
wie Schwierigkeiten beim Stromrichtungswechsel, betriebs-  
punktabhängige Spannungsamplitude, Drehmomentwellig-  
keit, erhöhte Schwingneigung - die aus der bisher verwen-  
deten Sicherheitszeit resultieren, zu vermeiden.  
Die Erfindung löst diese Aufgabe dadurch, daß in jedem  
Brückenweig ein geringer Querstrom von einigen Prozent  
des Nennstromes durch überlappendes Einschalten der  
beiden Leistungshalbleiter zugelassen und geregelt wird. Bei  
der Überlappung wird die speisende Spannung für einige  
Nanosekunden über eine wirksame Induktivität kurzge-  
schlossen.  
Breite Einsatzgebiete bilden alle getakteten 2- und 4-Qua-  
drant-Gleichstromsteller, sowie Pulswechselrichter, z. B. in  
der Antriebstechnik zur Speisung von Motoren, oder in der  
Energieversorgung zur Netzstützung bzw. -kopplung.  
Brückenweig mit geregelterm Querstrom durch überlappen-  
den Betrieb der Leistungshalbleiter.



DE 40 18 930 A 1

## Beschreibung

Getaktete 2- und 4-Quadrant-Gleichstromsteller, sowie Pulswechselrichter finden z. B. in der Antriebstechnik zur Speisung von Motoren, oder in der Energieversorgung zur Netzstützung bzw. -kopplung wegen ihrer hohen Dynamik breite Einsatzgebiete (Bilder 1 bis 3).

Das Grundelement der angesprochenen Schaltungen bildet ein Brückenweig (Bild 1), dessen aktive Schalter aus unterschiedlichen abschaltbaren Leistungshalbleitern (Bipolar-, MOSFET- oder IGBT-Transistoren, Thyristoren mit Löscheinrichtung oder abschaltbare (GTO-) Thyristoren) aufgebaut sein können. Damit jederzeit ein Laststrom in beiden Richtungen fließen kann, werden die beiden Leistungshalbleiter eines Brückenweiges abwechselnd ein- bzw. ausgeschaltet. Im hier hauptsächlich betrachteten pulsbreitenmodulierten (PWM) Betrieb ist das Ziel der Schaltung, die mittlere Lastspannung  $u_L$  durch das Tastverhältnis der Ansteuersignale  $T_1^*$  bzw.  $T_2^*$  vorzugeben, welche z. B. durch den Vergleich eines Steuersignals  $u_c$  mit einem dreieckförmigen Trägersignal konstanter Frequenz erzeugt werden. Im Betrieb mit Zweipunkt- bzw. Dreipunkt-Stromregelung (Toleranzband-Regelung) stellt sich die mittlere Lastspannung  $u_L$  gemäß dem Tastverhältnis der Schnittpunkte des Toleranzbandes mit der Soll-Istwert-Differenz bei variabler Frequenz selbständig ein.

## Konventionelle Verfahren

Um bei dem wechselseitigen Betrieb der beiden Leistungshalbleiter keinen transienten Kurzschluß der Zwischenkreisspannung  $U_s$  zu erhalten, wird üblicherweise bei jedem Umschaltvorgang eine kurze Verriegelungszeit (Sicherheitszeit) von einigen Mikrosekunden eingelegt, während der beide Leistungshalbleiter ausgeschaltet sind. Diese Sicherheitszeit  $T_d$  erhält man z. B. durch Einfügen einer Einschaltverzögerung  $T_{don}$  zusammen mit den parasitären Ein- bzw. Aus-Schaltverzögerungen  $T_{don}'$  bzw.  $T_{doff}'$  der Leistungshalbleiter mit Treiberschaltungen (Bild 4).

Die Auswirkungen der Sicherheitszeit  $T_d$  im pulsbreitenmodulierten Betrieb auf das gewünschte lineare Übertragungsverhalten des Brückenweiges vom Steuersignal  $u_c$  bis zur mittleren Lastspannung  $u_L$  sind in der Literatur (6, 12) beschrieben (stromrichtungsabhängige Verschiebung der Steuerkennlinie, Lückbetrieb, etc., Bild 5). Besonders unangenehm gestalten sich die Auswirkungen in einem überlagerten Stromregelkreis, in dem der Brückenweig als Spannungs-Stellglied eingesetzt ist, bei der Forderung nach hoher Regeldynamik im Stromnulldurchgang (Bild 11). Ebenfalls große Probleme treten in Umrichtern für Drehstrommotoren mit Spannungs-Frequenz-Steuerung auf, wegen Drehmomentwelligkeit, erhöhter Schwingneigung und betriebspunktabhängiger Spannungsamplitude (2 bis 12). Bei Toleranzband-Stromregelung ergeben sich aufgrund der Sicherheitszeit  $T_d$  stromrichtungsabhängige Abweichungen des Strommittelwertes vom gewünschten Sollwert.

Bisherige Lösungen versuchen entweder die Sicherheitszeit  $T_d$  (evtl. betriebspunktabhängig) minimal zu halten, oder deren Auswirkungen durch Regelungen oder Vorsteuerungen zu korrigieren (1, 3, 6, 7, 9 bis 12).

## Neues Verfahren

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Brückenweig so anzusteuern, daß sich für beide Polaritäten des Laststromes identische Übertragungseigenschaften zwischen einem Steuersignal und der mittleren Lastspannung ergeben, und dadurch sämtliche störenden Eigenschaften, die aus der Sicherheitszeit resultieren (2 bis 12), zu vermeiden.

Die Erfindung löst diese Aufgabe dadurch, daß in jedem Brückenweig ein geringer Querstrom von einigen Prozent des Nennstromes durch überlappendes Einschalten der beiden Leistungshalbleiter zugelassen und geregelt wird (Bild 6). Bei der Überlappung wird die Zwischenkreisspannung für einige Nanosekunden über eine wirksame Induktivität kurzgeschlossen und der Querstrom aufgebaut, während der restlichen Zeiten baut sich der Querstrom über eine Freilaufdiode ab.

Die beiden vorhandenen Freiheitsgrade (herrührend von den 2 unabhängig ansteuerbaren Leistungshalbleitern) werden hierbei in Form von mittlerem Aussteuergrad und Überlappingsgrad als zwei unabhängige Stelleingriffe für die Regelung des Laststromes und des Querstromes genutzt.

Ähnlich wie bei den netzgeführten Umkehrstromrichtern beim Übergang von der kreisstromfreien zur kreisstrombehafteten Gegenparallelschaltung wird hier bei den Gleichstromstellern und Pulswechselrichtern der Lückbetrieb vermieden und der Stromrichtungswechsel beschleunigt. Der Kreisstrom im netzgeführten Umkehrstromrichter entspricht dem Querstrom im PWM-gesteuerten Brückenweig.

Die Vorteile, die das beschriebene Verfahren bietet, äußern sich beim stromgeregelten Betrieb eines 4-Quadrant-Stellers vor allem in einem hochdynamischen Stromrichtungswechsel des Laststromes. Beim Betrieb des Pulswechselrichters mit einer Drehstrommaschine liegen die erzielbaren Vorteile der Erfindung in der Beseitigung der störenden Effekte wie Drehmomentwelligkeit, Schwingneigung und betriebspunktabhängiger Spannungsamplitude (2 bis 12).

## Schaltungsdetails

Um den Querstrom zu glätten ist eine ausreichende Induktivität im Querstromkreis notwendig, die auf verschiedene Weise in den Brückenweig eingebaut werden kann (Bilder 6, 7). Brückenweige, bei denen verhältnismäßig große parasitäre Induktivitäten im Querstromkreis wirksam sind, können auch ohne diskret eingefügte Drosseln mit einem Querstrom betrieben werden. Hierbei sind evtl. zusätzliche Freilaufdioden induktivitätsarm in die Schaltung einzufügen.

Der notwendige Induktivitäts-Wert hängt ab von der Zwischenkreisspannung  $U_s$ , der Taktperiodendauer  $T$ ,

der zugelassenen Welligkeit des Querstromes  $i_q$  und der Güte des Querstrom-Regelkreises (z. B. 50 H bei  $U_s = 300$  V). Verwendet man 2 Drosseln, dann kann jede so ausgelegt werden, daß sie nur den relativ niedrigen Querstrom ungesättigt führen kann und beim Führen des Laststromes in Sättigung geht. Hierdurch ergibt sich eine wesentliche Verkleinerung der Baugröße. Der notwendige Induktivitäts-Wert ist deshalb so gering, da die Zeitdauer des Kurzschlusses nicht durch Ein- und Ausschalten eines Leistungshalbleiters realisiert wird, sondern durch die Überlappung der EIN-Zustände der beiden Leistungshalbleiter, welche im Nanosekunden-Bereich liegen kann.

#### Ansteuerung

Die Überlappungszeit  $T_{\bar{u}}$  der Ansteuersignale wird z. B. durch das zusätzliche Überlappungs-Steuersignal  $u_{c\bar{u}}$  gemäß Gleichung (1) eingestellt (Bild 6, Bild 8). Für negative  $u_{c\bar{u}}$  ergeben sich "negative"  $T_{\bar{u}}$ , in diesem Fall überlappen sich die Ausschaltbefehle. Die Zeitdauer  $T_k$  des Kurzschlusses ergibt sich aus der Überlappungszeit  $T_{\bar{u}}$  der Ansteuersignale und aus den parasitären Ein- bzw. Aus-Schaltverzögerungen  $T_{don'}$  und  $T_{doff'}$  der Leistungshalbleiter mit Treiberschaltungen nach Gleichung (2). Das Tastverhältnis der Kurzschlußdauer  $2 T_k/T$  bildet zusammen mit der Zwischenkreisspannung  $U_s$  gemäß Gleichung (3) diejenige mittlere Spannung, die den mittleren Querstrom  $i_q$  durch die ohmschen Widerstände  $R_q$  im Querstromkreis treibt. Die Spannungsabfälle an den jeweils stromführenden Leistungshalbleitern können näherungsweise in  $R_q$  mit berücksichtigt werden. Der Widerstand  $R_q$  ist meist sehr gering (unter 1 Ohm) und ist hauptsächlich in den Querstromdrosseln zu lokalisieren. Die Kurzschlußdauer  $T_k$  kann deshalb sehr klein sein (z. B. unter 100 ns). Falls sie kleiner ist, als die Differenz  $T_{doff'} - T_{don'}$ , so kann  $T_k$  nur durch eine "negative Überlappungszeit"  $T_{\bar{u}}$  der Ansteuersignale bzw. negatives Steuersignal  $u_{c\bar{u}}$  erreicht werden (Bild 8b).

$$u_{c\bar{u}}/u_{cmax} = T_{\bar{u}}/T \quad (1)$$

$$T_k = T_{\bar{u}} + T_{doff'} - T_{don'} \quad (2)$$

$$U_s 2 T_k/T = R_q i_q \quad (3)$$

Falls die parasitären Verzögerungszeiten  $T_{doff'}$  und  $T_{don'}$  für beide abschaltbare Leistungshalbleiter so unterschiedlich sind, daß  $T_{doff1'} - T_{don2'}$  ungleich  $T_{doff2'} - T_{don1'}$  ist, und jedoch wie in Bild 6 das selbe  $u_{c\bar{u}}$  für beide Ansteuerungen verwendet wird, so haben die beiden Kurzschlüsse, die in einer Taktperiode  $T$  auftreten, unterschiedliche Zeitdauern  $T_{k1}$  und  $T_{k2}$ . Gleichung (2) ist dann für beide abschaltbare Leistungshalbleiter getrennt anzuwenden. In Gleichung (3) ist für  $T_k$  der Mittelwert aus  $T_{k1}$  und  $T_{k2}$  einzusetzen.

In Extremfällen — z. B. beim Einsatz bipolarer Leistungstransistoren mit starker Stromabhängigkeit der Speicherzeit — kann eine der beiden Kurzschlußzeiten  $T_{k1}$  oder  $T_{k2}$  aus Gleichung (2) "negativ" werden. Dies bedeutet, daß innerhalb einer Taktperiode  $T$  einmal der Querstrom durch Überlappung der Leitend-Zustände aktiv aufgebaut und einmal durch Überlappung der Sperrzustände aktiv abgebaut wird, wobei der vorzeichenrichtig berechnete Mittelwert  $T_k$  aus  $T_{k1}$  und  $T_{k2}$  immer positiv ist, und Gleichung (3) erfüllt.

Falls, die Welligkeit des Querstromes hierbei größer wird als erwünscht, so können für beide abschaltbare Leistungshalbleiter unterschiedliche Überlappungs-Steuersignale  $u_{c\bar{u}1}$  und  $u_{c\bar{u}2}$  verwendet werden, um gleiche Kurzschlußzeiten  $T_{k1}$  und  $T_{k2}$  zu erhalten. Der Unterschied zwischen  $u_{c\bar{u}1}$  und  $u_{c\bar{u}2}$  ist dann nach Gleichung (4) evtl. betriebspunktabhängig durch Steuerung oder Regelung einzustellen, während der Mittelwert aus  $u_{c\bar{u}1}$  und  $u_{c\bar{u}2}$  als  $u_{c\bar{u}}$  gemäß Gleichung (1) zu verwenden ist.

$$(u_{c\bar{u}1} - u_{c\bar{u}2})/u_{cmax} = [(T_{doff1'} - T_{don2'}) - (T_{doff2'} - T_{don1'})]/T \quad (4)$$

Falls die speisende Spannung  $U_s$  keine stabile Gleichspannung ist, sondern einen relativ großen Innenwiderstand besitzt oder einen relativ großen Wechselanteil aufweist, so kann dies durch Verwendung des Mittelwertes von  $U_s$  bzgl. der Taktperiodendauer  $T$  in Gleichung (3) berücksichtigt werden.

#### Regelung

Aufgrund von Exemplar-Streuungen und Unsymmetrien in der Realisierung erscheint es wenig zweckmäßig, das Überlappungs-Steuersignal  $u_{c\bar{u}}$  aus den Gleichungen 1 bis 4 im voraus zu berechnen und als festen Wert einzustellen, sondern den Querstrom  $i_q$  durch einen Regler mit  $u_{c\bar{u}}$  als Stellgröße zu regeln (Bild 6).

Die — evtl. vorhandene — übergeordnete Laststrom-Regelung des Brückenweiges, die das Tastverhältnis  $T_+/T$  des Ansteuersignals bzw. das Steuersignal  $u_c$  als Stellgröße benutzt, wird durch  $T_{\bar{u}}$  bzw.  $u_{c\bar{u}}$  kaum beeinflusst, da das mittlere Tastverhältnis in den meisten Fällen sehr kurz ist und die Querstromdrosseln eine sehr viel kleinere Induktivität besitzen als der Lastkreis, sind die Regelkreise für den Laststrom und für den Querstrom nahezu entkoppelt und können getrennt voneinander optimiert werden.

#### Ausführungsbeispiele der Querstrom-Regelung

##### 1) Für Steller mit Laststrommessung

Eine hochwertige Regelung des Querstromes gelingt durch Messung des Stromes  $i_{q1}$  in einer Querstromdross-

sel mit einem Gleichstromwandler (bzw. Hallwandler, Feldplattenwandler etc.). Da der Laststrom  $i_L$  — je nach Stromrichtung — evtl. ebenfalls durch diese Querstromdrossel fließt, muß das Laststromsignal richtungsabhängig abgezogen werden, um ein Signal  $i_q$  für den Querstromanteil zu erhalten (**Bild 9**). Ein PI-Regler, der für Stromregelkreise mit Spannungsstellglied üblich und zweckmäßig ist, regelt nach dem Vergleich von  $i_q$  mit einem konstanten Querstromsollwert  $i_{qsoll}$  die Regeldifferenz zu Null mit Hilfe des Stellsignals  $u_{cu}$ . Als Varianten sind auch reine P- oder I-Regler möglich. Die Regleroptimierung erfolgt wie bei einem konventionellen Stromregelkreis in der Antriebstechnik. Sie wird erleichtert, da die Störgrößen, die auf den Querstromregelkreis einwirken, vernachlässigbar gering sind, und auch die Führungsgröße  $i_{qsoll}$  im einfachsten Fall zeitlich nicht verändert wird.

Der Aufwand bei dieser Realisierungsvariante beschränkt sich auf eine oder zwei Querstromdrosseln, einen zusätzlichen Strommeßgeber (bei bereits vorhandener Laststrommessung), und eine einfache Signalverarbeitung (analog: Operationsverstärker-Schaltung, oder digital: Mikrorechner-Programm).

Das beschriebene Verfahren wurde an einem PWM-gesteuerten 4-Quadrant-Steller, bestehend aus zwei Brückenzeigen nach **Bild 7a** und zwei Regelungen gemäß den **Bildern 6** und **9**, sowie einer übergeordneten konventionellen Laststromregelung (PI-Regler) erprobt. Als Leistungshalbleiter wurden parallelgeschaltete, bipolare Leistungstransistoren in Darlingtonkonfiguration eingesetzt ( $U_s = 160$  V,  $L_L = 200$   $\mu$ H,  $T = 40$   $\mu$ s,  $L_q = 50$   $\mu$ H,  $i_{qsoll} = 2$  A,  $i_{Lmax} = 100$  A). Ein Vergleich (**Bild 71**) mit dem konventionellen Verfahren mit Sicherheitszeit ( $T_d = 10$   $\mu$ s, sonst gleiche Daten wie oben), ohne bzw. mit Korrekturschaltung nach (6, 12) zeigt deutlich die verbesserten Stromnulldurchgänge.

## 2) Für Steller ohne Laststrommessung

Bei Stellern, für die aus Kostengründen keine Laststrommessung vorhanden ist, läßt sich folgende vereinfachte Querstromregelung durchführen, falls eine Variante mit 2 Querstromdrosseln eingesetzt wird: Durch eine Abfrage, ob in beiden Querstromdrosseln der Strom einen vorgegebenen niedrigen Schwellwert (Sollwert) über- oder unterschreitet, verstellt ein Zweipunktschalter mit nachgeschaltetem Integrator stetig das Steuersignal  $u_{cu}$  (**Bild 10**). Da der Querstrom nicht hochgenau auf einen bestimmten Wert geregelt werden muß, und da auf den Querstrom-Regelkreis nur vernachlässigbar geringe Störgrößen einwirken, braucht die Über- bzw. Unterschreitung des Schwellwertes nicht anhand einer exakten Strommessung erkannt werden, sondern es sind folgende kostengünstigere Methoden möglich:

a) Durch Einbringen von Hall-Elementen in den magnetischen Kreis der Querstromdrosseln kann das Überschreiten einer bestimmten Magnetisierung — und damit das überschreiten des Querstrom-Sollwertes in den Querstromdrosseln — erkannt werden (**Bild 10a**).

b) Zwei Wechselstromwandler, die bereits beim Erreichen des gewünschten Querstromes gesättigt sind, werden in Reihe zu den Querstromdrosseln eingesetzt (**Bild 10b**). Bei einem Querstrom unterhalb des Sollwertes wird die vorhandene Stromwelligkeit auf die Sekundärseite übertragen. Bei einem Querstrom oberhalb des gewünschten Wertes verschwindet das Sekundärsignal, da der Wechselstromwandler durch die Vormagnetisierung bereits gesättigt ist.

c) In den Treiberschaltungen der Leistungshalbleiter kann erkannt werden, ob der Strom im Leistungshalbleiter einen bestimmten, niedrigen Wert — den Querstrom-Sollwert — über- oder unterschreitet. Dies geschieht je nach Leistungshalbleiter und Treiberschaltung z. B. anhand von Basisstrom, Basisspannung, Drain-Source-Spannung, Shunt, etc. Hierzu ist in den meisten Fällen je eine potentialgetrennte Rückmeldung von den Treiberstufen notwendig (**Bild 10c**).

Der Querstrom-Sollwert wird bei allen drei Varianten jeweils durch die Schaltschwelle der beiden Komparatoren eingestellt.

Je nach Umrichterkonzeption und Kostensituation kann eine der dargestellten Regelungsmethoden für den Querstrom eingesetzt werden. Die Darstellungen der **Bilder 6, 9** und **10** sind lediglich Prinzip-Schaltbilder zur Veranschaulichung der Funktion. Die konkreten Ausführungsformen (analog/digital, Hardware/Software, zentral/dezentral, diskret/integriert, etc.) sowie die Schnittstellen können je nach Realisierung verschieden ausfallen.

Ähnlich wie bei den kreisstromarmen netzgeführten Stromrichterschaltungen sind auch querstromarme Ausführungen möglich, bei denen der Querstrom nur bei kleinen Lastströmen aufgebaut wird, weil nur bei kleinen Lastströmen und beim Stromnulldurchgang die erwähnten Probleme auftreten.

## Kombinierte Schaltungsanordnungen

Zum Betrieb mehrerer Brückenzeigen an einer gemeinsamen Zwischenkreisspannung — z. B. bei 4-Quadrant-Stellern oder mehrphasigen Pulswechselrichtern — bestehen grundsätzlich 2 Möglichkeiten:

1) Voneinander unabhängiger Betrieb der Querstrom-Regelungen bei Einsatz weitgehend unveränderter Brückenzeigen aus **Bild 6** oder **7**, bzw. Verwendung entsprechender parasitär wirksamer Induktivitäten.

2) Einsparung von Querstromdrosseln durch Einsatz einer gemeinsamen Querstromdrossel mit Freilaufdiode zwischen der speisenden Spannung  $U_s$  einerseits und den Brückenzeigen andererseits, bzw. Verwendung entsprechender parasitär wirksamer Induktivitäten.

## Anwendung des Prinzips auf Stromzwischenkreis-Umrichter

Dual zum hier beschriebenen Betrieb von Spannungszwischenkreis-Umrichtern mit geregelten Querströmen ist bei Stromzwischenkreis-Umrichtern, die mit abschaltbaren Leistungshalbleitern arbeiten, der Betrieb mit geregelten Leerlaufspannungen möglich. Hierbei wird durch überlappendes Ausschalten aller Leistungshalbleiter, die einen gemeinsamen Anschluß am Zwischenkreis haben, ein transients Leerlauf der speisenden Stromquelle über eine oder mehrere wirksame Kapazitäten zugelassen und geregelt. Das spannungsglättende Element ist z. B. eine wirksame Kapazität parallel zu jedem Leistungshalbleiter. Die Varianten im Leistungsteil sowie die Möglichkeiten der Regelung der Leerlaufspannung gestalten sich ähnlich (dual) wie beim Spannungszwischenkreis-Umrichter mit geregelten Querströmen.

## Literatur:

- [1] Schwesig, G.; Siemens AG Berlin und München: Verfahren und Vorrichtung zum Betrieb eines Pulsumrichters mit Kompensation von durch Träger-Speicher-Effekte hervorgerufenen Fehlspannungszeitflächen. Offenlegungsschrift DE 35 41 227 A1, Deutsches Patentamt, 27.05.87 (Anmeldung: 21.11.85).
- [2] Ueda, R.; Sonoda, T.; Inoue, Y.; Umez, T.: Unstable Oscillating Mode in PWM Variable Speed Drives of Induction Motor and its Stabilization. IEEE Ind. App. Soc. Ann. Meeting 1982, S. 686—691.
- [3] Murai, Y.; Watanabe, T.; Iwasaki, H.: Waveform Distortion and Correction Circuit for PWM Inverters with Switching Lag-Times. IEEE Ind. App. Soc. Ann. Meeting, Toronto, 1985, S. 436—441.
- [4] Ueda, R.; Sonoda, T.; Takata, S.: Experimental Results and their Simplified Analysis on Instability Problems in PWM Inverter Induction Motor Drives. IEEE Ind. App. Soc. Ann. Meeting, 1986, S. 196—202.
- [5] Grotstollen, H.; Wang, Y.F.: The Behaviour of AC Servomotors Fed by PWM Inverters with non-negligible Switching Times. ICEM 1988, S. 367—372.
- [6] Klug, R.D.: Nonlinear Control Characteristic of PWM Four-Quadrant Choppers in Current Control Loops. EPE Grenoble 1987, S. 485—490.
- [7] Barret, J.: Interactive Switching in a Bridge Leg. EPE Grenoble 1987, S. 187—190.
- [8] Heumann, K.; Schröder, H.: Design Criteria for Fast Switching PWM Inverters. IEEE PESC Kyoto 1988, S. 271—276.
- [9] Viola, R.; Grotstollen, H.: Einfluß der Ventilschaltzeiten auf das Verhalten von Pulswechselrichtern. etz-Archiv 1988, Nr. 6, S. 181—187.
- [10] Klug, R.D.: Effects and Correction of Switching Dead Times in 3-phase PWM Inverter Drives. EPE Aachen 1989, S. 1261-1266.
- [11] Weschta, A.; Weberskirch, W.: Nonlinear Behavior of Voltage Source Inverters with Power Transistors. EPE Aachen 1989, S. 533—537.
- [12] Klug, R.D.: Auswirkungen und Korrekturmöglichkeiten von Sicherheitszeiten bei PWM-gesteuerten Gleichstromstellern. etz-Archiv 1990, Nr. 2, 45—53.

## Patentansprüche

1. Brückenweig von Gleichstromstellern oder Pulswechselrichtern mit abschaltbaren Leistungshalbleitern, dadurch gekennzeichnet,
  - daß durch Überlappung der Leitend-Zustände der abschaltbaren Leistungshalbleiter die speisende Gleichspannung über eine wirksame Induktivität zeitweise kurzgeschlossen wird,
  - daß dadurch ein Querstrom aufgebaut wird, dessen Mittelwert unabhängig oder weitgehend unabhängig von der gewünschten mittleren Ausgangsspannung des Brückenweiges eingestellt oder geregelt werden kann.
2. Brückenweig nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
  - daß die wirksame Induktivität entweder lediglich parasitär in Leitungen, Bauteilen oder anderen Schaltelementen vorhanden ist, oder als eine oder mehrere Kurzschlußdrosseln in Reihe mit den beiden abschaltbaren Leistungshalbleitern des Brückenweiges geschaltet ist.
3. Brückenweig nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
  - daß das Tastverhältnis der Überlappungsdauer und das mittlere Tastverhältnis der Einschaltsignale der beiden abschaltbaren Leistungshalbleiter des Brückenweiges nahezu unabhängig voneinander eingestellt werden können.
4. Brückenweig nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
  - daß der mittlere Querstrom durch ein Regelverfahren mit integrierendem und/oder proportionalem Anteil geregelt wird,
  - daß der Querstrom-Sollwert entweder durch Wahl und Dimensionierung von Bauteilen fest vorgegeben ist, oder nach Bedarf eingestellt werden kann, oder während des Betriebs automatisch betriebspunktabhängig vorgegeben wird,
  - daß der Querstrom-Istwert entweder aus einer oder aus der Kombination mehrerer Strommeßstellen gewonnen wird, oder die Information über die Höhe oder das Vorhandensein eines von Null verschiedenen Querstromes aus bereits vorhandenen oder zusätzlichen Schaltungsteilen gewonnen wird,
  - daß als Stellgröße für den Querstrom die Überlappungsdauer der Leitend-Zustände der beiden in Reihe liegenden abschaltbaren Leistungshalbleiter des Brückenweiges benutzt wird.
5. Brückenweig nach Anspruch 1 mit Regelung, dadurch gekennzeichnet,

– daß als Querstrom-Istwert, derjenige mittlere Stromanteil gilt, der zeitweise durch beide abschaltbare Leistungshalbleiter gleichzeitig, und zeitweise durch einen abschaltbaren Leistungshalbleiter und eine Freilaufdiode fließt,

– daß durch Messung der Ströme in einem oder in beiden abschaltbaren Leistungshalbleitern des Brückenzeiges und/oder Messung des Ausgangsstromes des Brückenzeiges und durch Kombination dieser Meßwerte der Querstrom-Istwert ermittelt wird, oder

– daß durch Einbringen von Hall-Elementen in den magnetischen Kreis der Kurzschlußdrosseln entweder die Höhe des Querstromes gemessen wird oder durch diese Maßnahme lediglich das Über- bzw. Unterschreiten des Querstrom-Sollwertes erkannt wird, oder

– daß Wechselstromwandler, die bereits beim Erreichen des Querstrom-Sollwertes stark magnetisch gesättigt sind, in Reihe zu den wirksamen Kurzschluß-Induktivitäten geschaltet sind, und zur Erkennung der Höhe des Querstromes oder des Über- bzw. Unterschreitens des Querstrom-Sollwertes, das Vermögen der Wechselstromwandler, die Stromwelligkeit zu übertragen, verwendet wird, oder

– daß aus den Treiberschaltungen der abschaltbaren Leistungshalbleiter Informationen – wie zum Beispiel die Ströme und/oder Spannungen der Leistungshalbleiter – verwendet werden, aus denen man die Höhe des Querstromes oder das über- bzw. Unterschreiten des Querstrom-Sollwertes erkennen kann.

6. Schaltungsanordnung von Gleichstromstellern oder Pulswechselrichtern, dadurch gekennzeichnet,

– daß sie aus mehreren, bezüglich der speisenden Gleichspannung parallel geschalteten Brückenzeigen nach Anspruch 1 besteht,

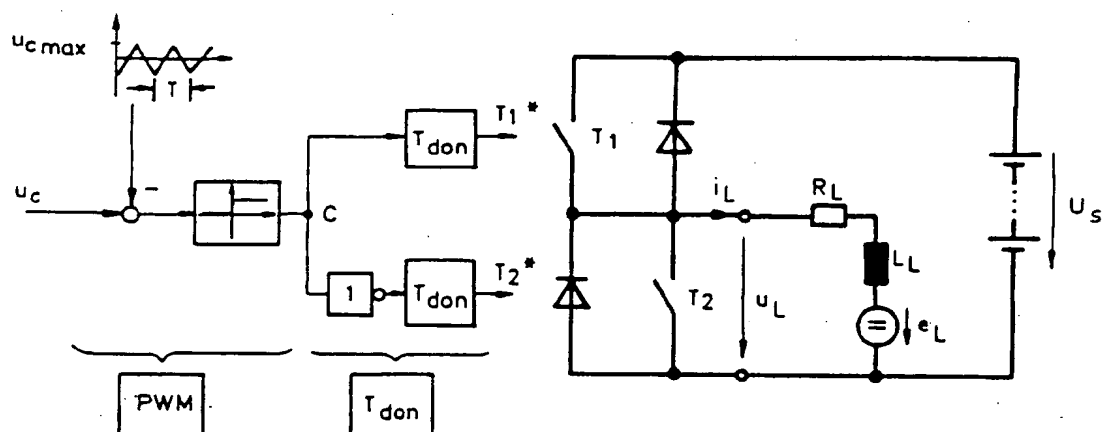
– daß entweder jedem Brückenzeig eine eigene Kurzschlußdrossel zugeordnet ist, oder eine gemeinsame Kurzschlußdrossel zwischen der speisenden Spannung und den Brückenzeigen angeordnet ist, oder eine Kombination dieser beiden Möglichkeiten,

– daß die Querströme entweder unabhängig voneinander oder untereinander koordiniert gesteuert oder geregelt werden.

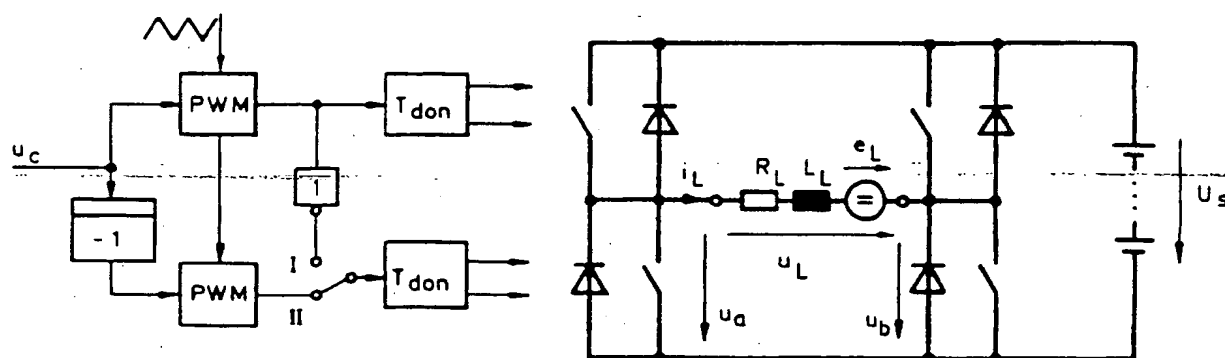
---

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

---



**Bild 1: PWM-gesteuerter 2-Quadrant-Gleichstromsteller (Brückenzweig) mit üblicher Ansteuerung**



**Bild 2: PWM-gesteuerter 4-Quadrant-Steller für Gleichstrommotoren, Schrittmotoren, Einphasen-Netze etc.; Schalterstellung I) ohne, II) mit Nullspannung.**

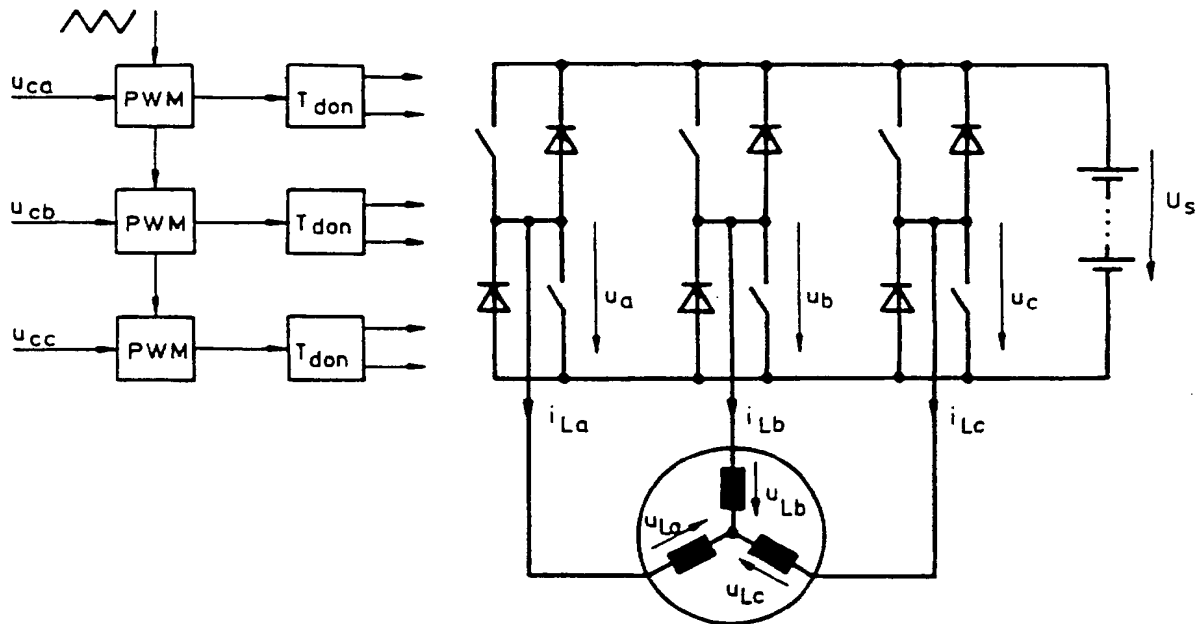


Bild 3: PWM-gesteuerter Pulswechselrichter für Asynchron-, Synchron- und bürstenlose Gleichstrom-Motoren, Dreiphasen-Netze, etc.

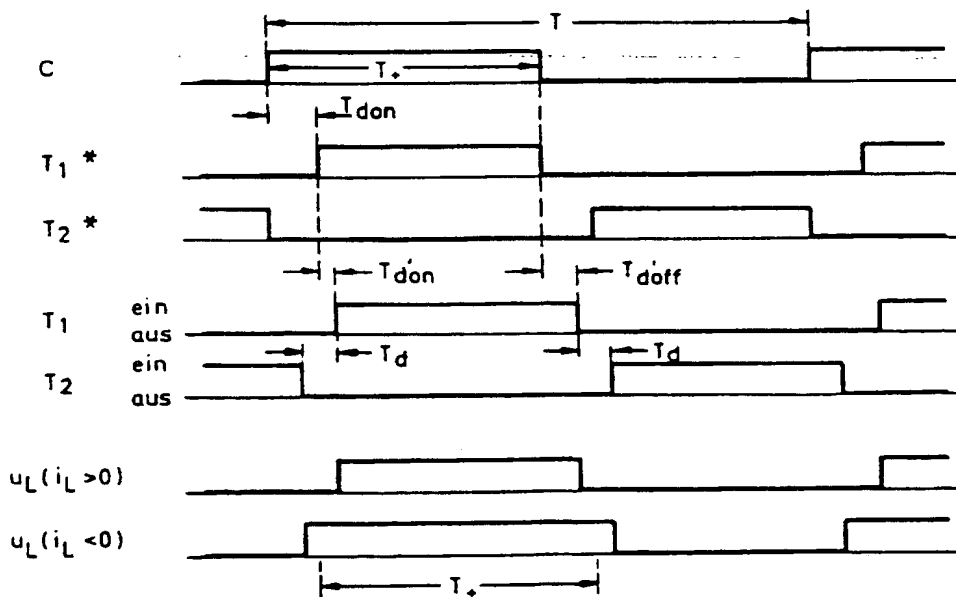


Bild 4: Übliche Ansteuerung eines Brückenzeiges und resultierende, stromrichtungsabhängige Lastspannung



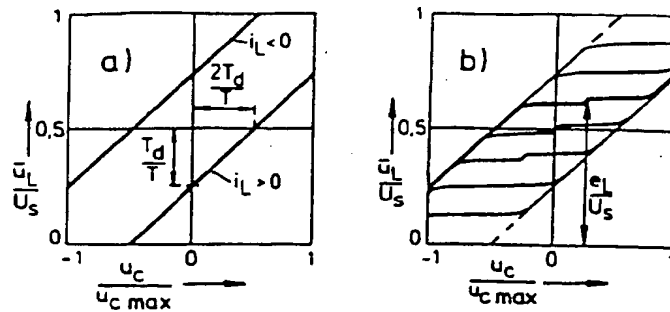


Bild 5: Steuerkennlinien eines Brückenzeiges bei üblicher Ansteuerung; a) für kontinuierlichen Laststrom, b) für Lückbetrieb.

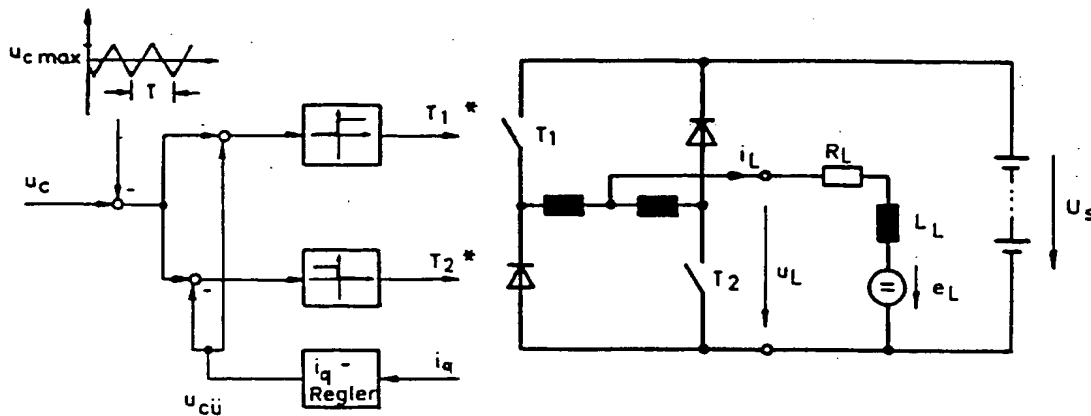


Bild 6: Brückenzeig mit geregelttem Kurzschlußstrom durch überlappenden Betrieb der Leistungshalbleiter.

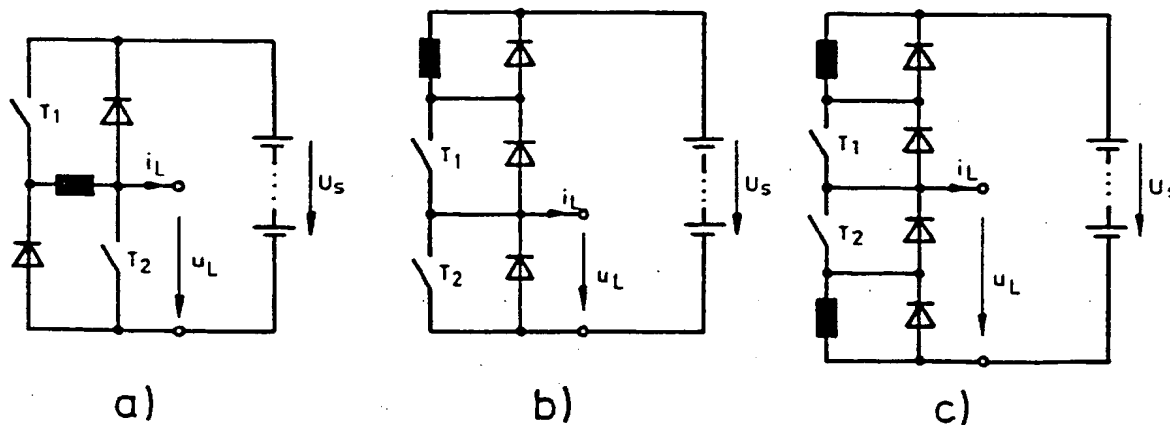


Bild 7: Weitere Möglichkeiten zur Anordnung der Induktivität im Kurzschlußkreis.

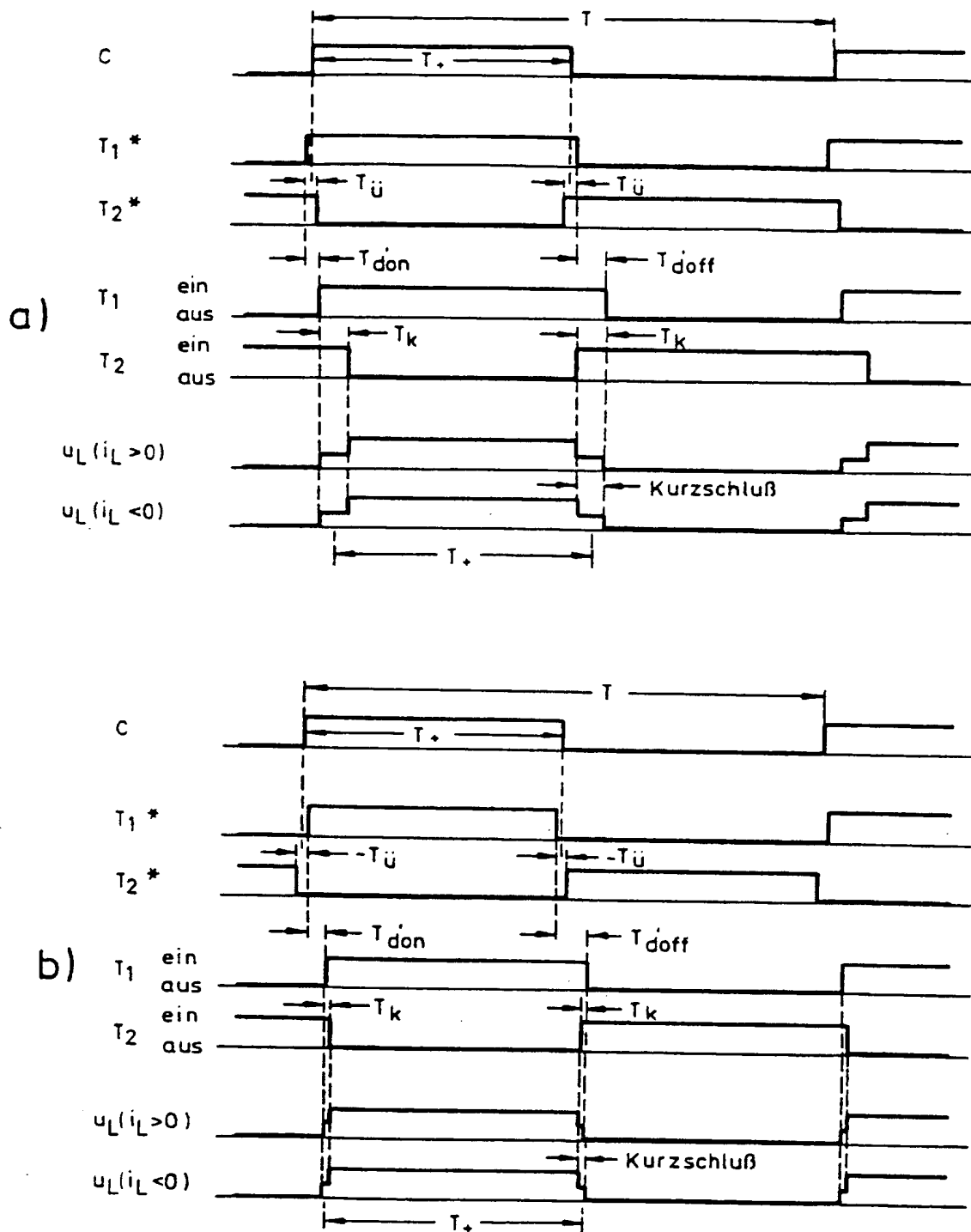


Bild 8: Ansteuerung des Brückenweiges und resultierende Lastspannung; a)  $T_{\ddot{U}} > 0$ , b)  $T_{\ddot{U}} < 0$ .

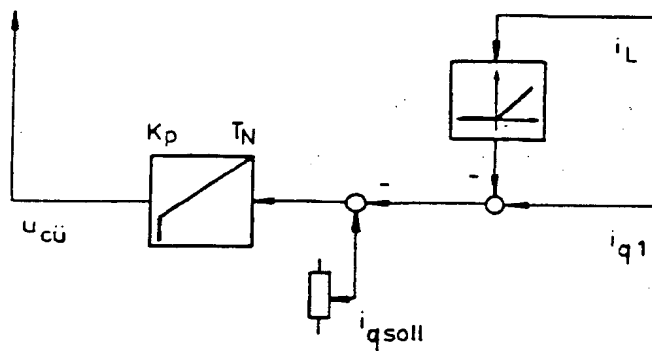
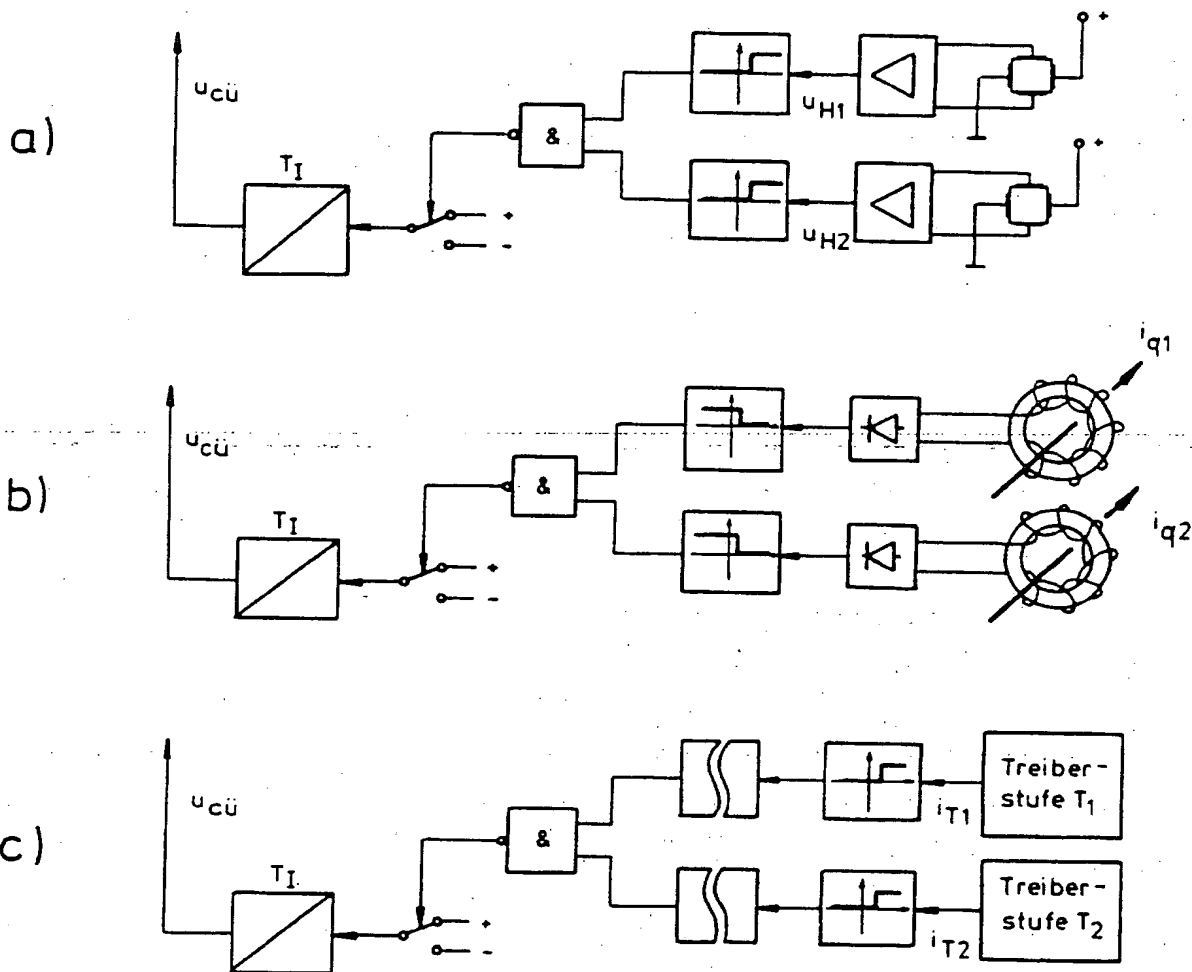


Bild 9: Kurzschlußstrom-Regelung mit Strommeßgebern


 Bild 10: Kurzschlußstrom-Regelung ohne Strommeßgeber  
 a) mit Hallgebern in den Kurzschlußdrosseln,  
 b) mit Sättigungs-Übertragern,  
 c) mit Signalen aus den Treiberstufen.

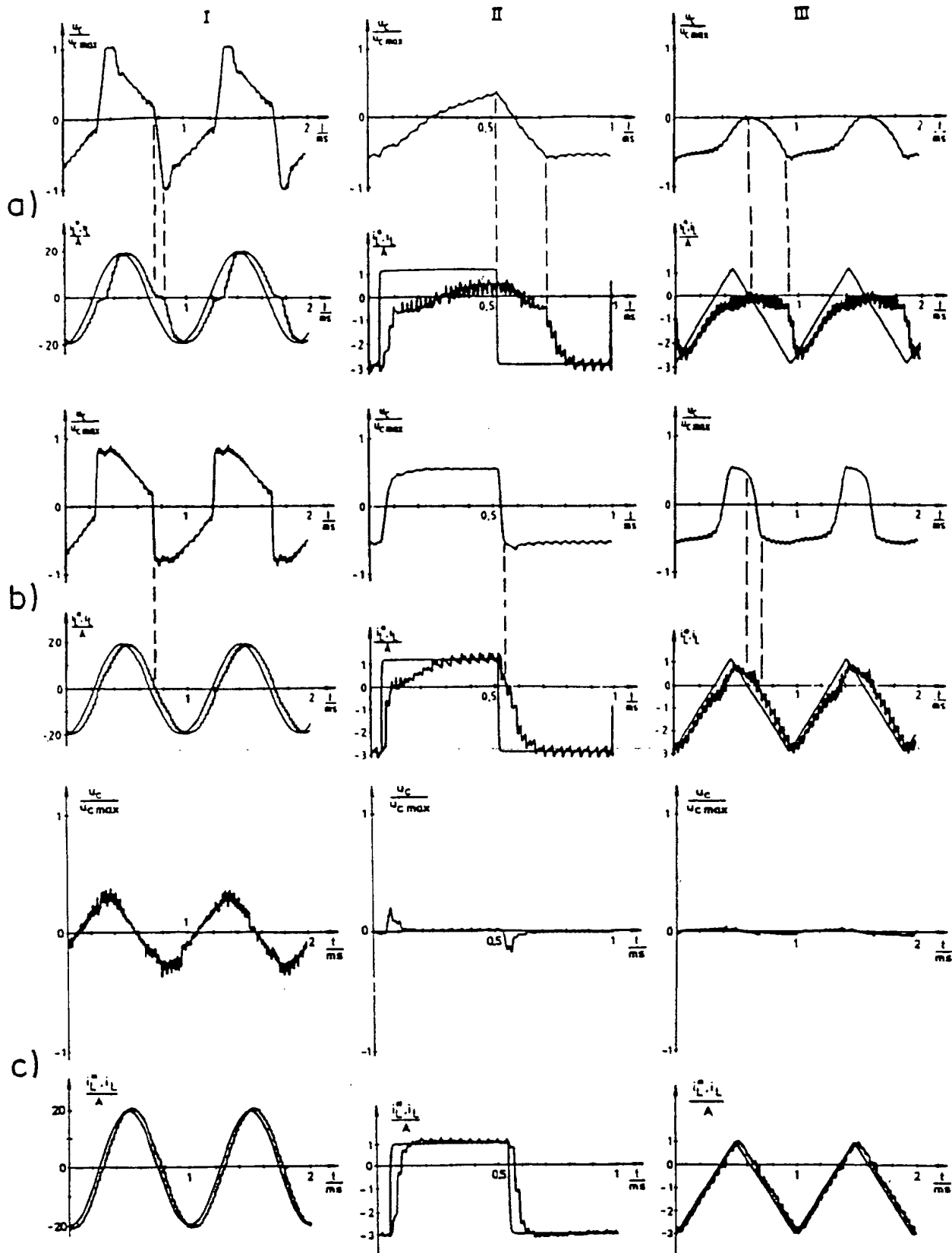


Bild 11: Stromregelung eines 4-Quadrant-Stellers  
 Stand der Technik a) ohne b) mit Korrekturschaltung,  
 c) neues Verfahren mit Kurzschlußstrom-Regelung.